

中华人民共和国黑色冶金行业标准

YB/T 4001. 2—2020

钢格栅板及配套件 第 2 部分：钢格板平台球型护栏

Steel bar grating and matching parts
Part 2: Grating platform ball-type guardrails

2020-04-16 发布

2020-10-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

前 言

YB/T 4001《钢格栅板及配套件》分为三个部分：

- 第1部分：钢格栅板；
- 第2部分：钢格板平台球型护栏；
- 第3部分：钢格板楼梯踏板。

本部分为 YB/T 4001 的第 2 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分由中国钢铁工业协会提出。

本部分由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本部分起草单位：佛山市南海大和钢结构有限公司、新兴铸管股份有限公司、烟台新科钢结构有限公司、冶金工业信息标准研究院、宁波九龙机械制造有限公司、无锡众盟钢格板有限公司。

本部分主要起草人：陈掌文、陈思宁、赵福恩、张军强、李倩、潘正利、陈斌、魏国锋、申丽萍、张文民、张维旭、卢翰霖、钱雯、骆玉江、赵俊勇、智绪民、李兴民。

本部分为首次发布。

钢格栅板及配套件

第 2 部分：钢格板平台球型护栏

1 范围

本部分规定了钢格板平台球型护栏的术语及定义、构造、技术要求、制作、防腐蚀措施、安装、检验与包装标志。

本部分适用于工业企业中的操作平台、楼梯、人行通道、检修栈桥、升降口等有跌落危险的场所。不适用于民宅、街道与道路上的步行道、学校、商场、体育场馆或大型公共场所的护栏及其他移动设备。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 700 碳素结构钢
- GB/T 702 热轧钢棒尺寸、外形、重量及允许偏差
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 3280 不锈钢冷轧钢板和钢带
- GB/T 4237 不锈钢热轧钢板和钢带
- GB/T 6725 冷弯型钢通用技术要求
- GB/T 12770 机械结构用不锈钢焊接钢管
- GB/T 13793 直缝电焊钢管
- GB/T 13912 金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层 技术要求及试验方法
- GB/T 17888.3 机械安全 进入机械的固定设施 第 3 部分：楼梯、阶梯和护栏

3 术语及定义

下列术语及定义适用于本文件。

3.1

球型护栏 ball-type guardrail

以球型立柱作为支柱的护栏。

3.2

空心球 hollow sphere

球型护栏立柱和扶手管、横杆或弯头连接固定的球节点。

3.3

球型立柱管 ball-type stanchion pipe

和空心球组成球型立柱的钢管。

3.4

球型立柱 ball-type stanchion

球型护栏的垂直构件，护栏和平台连接的支柱，一种管—球结构支柱。

3.5

立柱底板 base plate

球型护栏立柱和平台连接用的基座板。

3.6

立柱间距 stanchion spacing

相邻两根球型立柱之间的直线距离。

3.7

扶手 handrail

预定让人用手抓住支撑身体的立柱上端设置的防护构件。

3.8

横杆 kneerail

与扶手平行安装的立柱中部的连接杆件,能够对身体的通过提供额外的防护。

3.9

弯头 elbow

用于水平护栏转弯处、角度护栏与水平护栏拐弯处的连接构件。

3.10

水平护栏 horizontal guardrail

扶手与平台水平面平行的护栏。

3.11

水平球型立柱 horizontal ball-type stanchion

水平护栏的球型立柱。

3.12

角度护栏 angle guardrail

扶手与平台水平面成倾角的用于楼梯两侧的护栏。

3.13

扶手角度 inclined angle

角度护栏扶手与平台水平面的倾角,也就是楼梯的倾角。

3.14

角度球型立柱 angle ball-type stanchion

角度护栏的球型立柱。

3.15

凹槽球型立柱 groove ball-type stanchion

角度球型立柱的一种结构形式,立柱管靠近球节点的位置带有凹槽。

3.16

水平收口 level closing

用于水平护栏的端头,连接扶手管和下横杆的连接构件。

3.17

角度收口 angle closing

用于角度护栏的端头,连接扶手管和下横杆的连接构件。

3.18

接管 connecting pipe

扶手管、横杆管的连接构件。

3.19

固定铆钉 fixed rivet

固定立柱与连接构件或固定接管用的铆钉。

3.20

踢脚板 toe plate

沿平台、通道或其他敞开边缘垂直设置,防止物体坠落或人员滑出的防护栏杆构件。

4 球型护栏的构造

4.1 球型护栏是一种管—球结构组合式固定护栏,以不同直径的空心钢球、钢管和立柱底板通过焊接而成为立柱,以空心球作为节点,连接扶手管、横杆管,加上踢脚板组合而成为一种固定式安全防护设施,如图1所示。经供需双方协商,也可不带底板。

4.2 球型护栏以在平台上的安装位置不同分为水平球型护栏和角度球型护栏。

4.3 水平球型护栏在平台的转角处可以接入弯头连接另一方向的护栏,或者使用水平收口与另一方向的护栏分开。

4.4 角度护栏在起跑和结束处使用角度收口;角度护栏与水平护栏交互处或两跑角度护栏的连接,可作收口处理或使用弯头连接,因为现场空间位置的不同,弯头连接必须根据实际由安装人员现场制作。

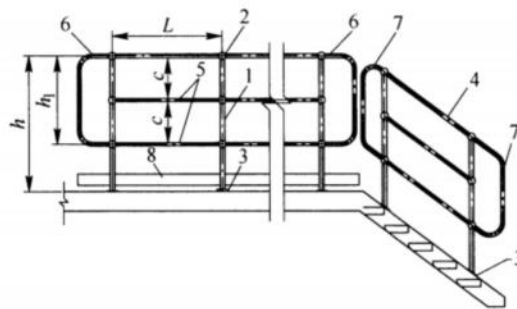
4.5 凹槽球型立柱是角度球型立柱的一种结构形式。

4.6 扶手管,横杆管在立柱球节点处通过焊接或用铆钉固定。

4.7 两根扶手管,横杆管之间通过内接管连接并焊接或用铆钉固定。

4.8 踢脚板可直接焊接或用安装夹固定在立柱下方。

4.9 球型立柱底板通过直接焊接或用螺栓固定在平台的支承钢架上。



说明:

- 1 ——立柱管;
- 2 ——球节点;
- 3 ——立柱底板;
- 4 ——扶手管;
- 5 ——横杆管;
- 6 ——水平收口;
- 7 ——角度收口;
- 8 ——踢脚板;
- h ——护栏高度;
- h_1 ——收口高度;
- L ——立柱间距;
- c ——横杆间距。

图1 球型护栏的结构型式

5 球型护栏的技术要求

5.1 球型护栏荷载要求

5.1.1 球型护栏扶手的荷载要求

球型护栏的扶手在跨距(L)不大于 1000mm 时,其任何部位应能承受任何方向的 1000N 的集中荷载,负载下的最大容许挠度 $L/250$,卸载后不应有任何可见的永久变形。

5.1.2 球型护栏横杆的荷载要求

球型护栏的横杆在跨距(L)不大于 1000mm 时,其任何部位应能承受任何方向的 700N 的集中荷载,负载下的最大容许挠度不大于 30mm。

5.1.3 球型护栏踢脚板的荷载要求

球型护栏的踢脚板在现场安装完毕后,在跨距(L)不大于 1000mm 时,其任何部位应能承受任何方向的 100N 的集中荷载,负载下的最大容许挠度不大于 30mm。

5.1.4 球型护栏立柱的荷载要求

5.1.4.1 球型护栏 500 型立柱的荷载要求

球型护栏 500 型立柱顶部应能承受水平方向的 500N 的集中荷载,负载下的最大容许挠度不大于 30mm,适用于单人通行的场合。

5.1.4.2 球型护栏 890 型立柱的荷载要求

球型护栏 890 型立柱顶部应能承受水平方向的 890N 的集中荷载,负载下的最大容许挠度不大于 30mm,适用于多人通行的场合。

5.1.4.3 球型护栏 1000 型立柱的荷载要求

球型护栏 1000 型立柱顶部应能承受水平方向的 1000N 的集中荷载,负载下的最大容许挠度不大于 30mm,适用于紧急撤离路线通道和密集人员通行的场合。

5.2 球型护栏的高度要求

5.2.1 当平台、通道及作业场所距基准面高度小于 2m 时,球型护栏高度应不低于 900mm。

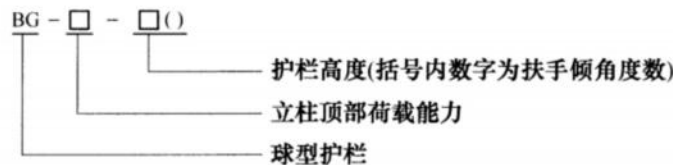
5.2.2 在距基准面不小于 2m 且小于 20m 的平台、通道及作业场所的球型护栏高度应不低于 1050mm。

5.2.3 在距基准面高度不小于 20m 的平台、通道及作业场所的球型护栏高度应不低于 1200mm。

5.3 球型护栏型号表示方法

5.3.1 球型护栏的代号为 BG, 代表 ball-type guardrail。

5.3.2 球型护栏型号的表示方法:



球型护栏的型号举例:

BG-500-1230 表示水平球型护栏,球型立柱顶部承受集中荷载能力为 500N,立柱高度为 1230mm。

BG-890-1050 (38) 表示角度球型护栏,球型立柱顶部承受集中荷载能力为 890N,立柱高度为 1050mm,扶手倾角为 38°。

5.3.3 球型护栏的型号规格

球型护栏的型号规格如表 1 所示。

表 1 球型护栏的通常型号规格

单位为毫米

护栏型号	空心球外径 ϕ	立柱管外径 ϕ	扶手管外径 ϕ	横杆管外径 ϕ
BG-500	≥ 65	42	33.5	26.8
BG-890	≥ 75	48	42	33.5
BG-1000	≥ 90	60	48	33.5

5.4 球型护栏构件的尺寸要求

5.4.1 高度为 900mm 的球型护栏的构件尺寸要求如表 2 所示。

表 2 高度为 900mm 的球型护栏的构件尺寸要求

单位为毫米

型号	空心球		立柱管		扶手管		横杆管	
	外径 ϕ	壁厚	外径 ϕ	壁厚	外径 ϕ	壁厚	外径 ϕ	壁厚
BG-500-900	≥ 65	≥ 3.0	42	≥ 2.0	33.5	≥ 2.5	26.8	≥ 2.0
BG-890-900	≥ 75	≥ 4.0	48	≥ 2.75	42	≥ 1.5	33.5	≥ 1.5
BG-1000-900	≥ 90	≥ 4.0	60	≥ 2.75	48	≥ 1.5	33.5	≥ 1.5

5.4.2 高度为 1050mm 的球型护栏的构件尺寸要求如表 3 所示。

表 3 高度为 1050mm 的球型护栏的构件尺寸要求

单位为毫米

型号	空心球		立柱管		扶手管		横杆管	
	外径 ϕ	壁厚	外径 ϕ	壁厚	外径 ϕ	壁厚	外径 ϕ	壁厚
BG-500-1050	≥ 65	≥ 3.0	42	≥ 2.5	33.5	≥ 2.5	26.8	≥ 2.0
BG-890-1050	≥ 75	≥ 4.0	48	≥ 3.0	42	≥ 1.5	33.5	≥ 1.5
BG-1000-1050	≥ 90	≥ 4.0	60	≥ 3.0	48	≥ 1.5	33.5	≥ 1.5

5.4.3 高度为 1200mm 的球型护栏的构件尺寸要求如表 4 所示。

表 4 高度为 1200mm 的球型护栏的构件尺寸要求

单位为毫米

型号	空心球		立柱管		扶手管		横杆管	
	外径 ϕ	壁厚	外径 ϕ	壁厚	外径 ϕ	壁厚	外径 ϕ	壁厚
BG-500-1200	≥ 65	≥ 3.0	42	≥ 3.0	33.5	≥ 2.5	26.8	≥ 2.0
BG-890-1200	≥ 75	≥ 4.0	48	≥ 3.5	42	≥ 1.5	33.5	≥ 1.5
BG-1000-1200	≥ 90	≥ 4.0	60	≥ 3.5	48	≥ 1.5	33.5	≥ 1.5

5.4.4 表 2~表 4 中壁厚为符合 Q235B 材料强度计算要求的最小壁厚,可根据实际用材和需求的不同选择不同的壁厚。

6 球型护栏制作要求

6.1 球型护栏各构件的选用材料应符合荷载及安全的要求,具体如下:

- 采用碳素结构钢、耐候结构钢、低合金高强度结构钢材料,且符合 GB/T 700 或 GB/T 4171 或 GB/T 1591 或 GB/T 13793 的规定。
- 采用铁素体不锈钢、奥氏体不锈钢、双相不锈钢材料,且符合 GB/T 4237 或 GB/T 3280 或 GB/T 12770 的规定。

6.2 空心球应是整体成形的钢构件,不允许由两片或多片球面拼接而成,空心球的外圆直径偏差不大于

0.25mm,空心球开孔后剩余的有效截面积不小于立柱管的截面积。

6.3 除空心球外,立柱管上不允许有任何的开孔、开口,保证整根立柱管的截面积不减小。

6.4 立柱管与节点空心球、立柱底板应牢固的焊接成为整体,全周角焊缝宽度不小于3mm,球型护栏立柱组装焊接后必须逐根检查,不允许存在横向和纵向裂纹。

6.5 立柱底板的厚度不小于8mm,厚度偏差不大于0.3mm。

6.6 采用碳素结构钢、耐候结构钢、低合金高强度结构钢材料生产的球型立柱管、扶手管、横杆使用直缝电焊钢管,并应符合GB/T 13793的规定,表5给出了常用规格的尺寸允许偏差。

表5 球型护栏用直缝电焊钢管外径、壁厚的允许偏差

单位为毫米

外径(D)	普通精度的允许偏差	壁厚(t)	普通精度的允许偏差
>20~35	±0.40	1.0~1.5	±0.1
>35~50	±0.50	>1.5~2.5	±10%t
>50~80	±1%D	>2.5~3.5	±10%t

6.7 采用铁素体不锈钢、奥氏体不锈钢、双相不锈钢材料生产的球型立柱管、扶手管、横杆管等构件钢管材料应符合GB/T 12770的规定,表6给出了常用规格的尺寸允许偏差。

表6 球型护栏用不锈钢焊接钢管外径、壁厚的允许偏差

单位为毫米

外径(D)	普通级精度的允许偏差	壁厚(t)	允许偏差
25~<40	±0.30	0.5~1.0	±0.15
40~<63	±0.50	>1.0~2.0	±0.20
63~<90	±0.60	>2.0~<4.0	±0.30
90~<159	±0.80	≥4.0	±10%t

6.8 踢脚板采用扁钢制造,其宽度和厚度尺寸偏差应符合GB/T 702的规定;踢脚板采用冷弯型钢制造,应符合GB/T 6725的规定。

6.9 横杆与上、下方构件之间的空隙间距应不大于500mm。

7 球型护栏的防腐蚀措施

7.1 工业腐蚀环境下使用的球型护栏,宜采用耐候钢或不锈钢制造,并选用较厚的壁厚,以增加腐蚀裕量。

7.2 工业腐蚀环境下使用的球型护栏的表面防护,宜采用耐候性优良的防护处理。除不锈钢球型护栏外,球型护栏采用热浸镀锌或等效的表面处理。工业腐蚀环境下的球型护栏安装螺栓可选用不锈钢螺栓。

8 球型护栏安装要求

8.1 当可能坠落高度超过500mm时,必须安装护栏。

8.2 如果操作平台和设备构架或墙壁之间的间距小于200mm并且构架的防护等效于护栏时,不需要装护栏。当操作平台和相邻的构架之间的间距大于30mm时,要有踢脚板。

8.3 球型立柱间距由护栏荷载设计要求而定,最大间距应不超过1000mm。

8.4 在中断扶手的情况下,两段护栏间最大净空应不超过120mm。

8.5 自关门应具有和护栏同样高度的扶手和横杆。

8.6 即使没有坠落风险,例如两边有墙壁的楼梯,也至少要安装一侧扶手护栏。宽度不小于1200mm的

楼梯应安装两侧扶手护栏。

- 8.7 当楼梯的上升高度超过 500mm 并且梯梁外侧有大于 200mm 的横向间距时,在其侧边应安装护栏。
- 8.8 在护栏扶手的周围 100mm 的距离内不应有妨碍人手把握的障碍。
- 8.9 球型立柱底板与平台梁的固定宜采用焊接或螺栓连接,角焊缝不小于 6mm,并预留漏水孔,采用螺栓连接时,螺栓直径应不小于 12mm。
- 8.10 球型立柱与扶手管、横杆、弯头和接管的固定宜采用焊接,也可采用铆钉固定。
- 8.11 踢脚板与球型立柱的连接采用焊接或夹紧件固定,现场装配后踢脚板与平台上表面的间隙不大于 10mm。
- 8.12 球型护栏端部必须设置收口或与建筑物牢固连接。
- 8.13 球型护栏安装时应保证平直,没有肉眼可见的明显波浪弯曲。
- 8.14 球型护栏由安装单位在现场组装焊接后,焊接部位必须清理焊渣,裁切口,碰损擦伤等防腐涂层遭到损伤的部位,现场施工负责进行防腐涂装。

9 球型护栏检验

9.1 外观检查

- 9.1.1 护栏产品焊缝完整,无漏焊。
- 9.1.2 护栏产品外表不允许有裂缝、结疤、折叠、分层、过烧缺陷存在,允许有不大于厚度负偏差的划道、刮伤及毛刺清除的痕迹存在。
- 9.1.3 热浸锌处理的构件外表面应有完整的镀锌层,不应有未镀上锌的黑斑和气泡存在,局部允许有粗糙面和锌瘤存在。

9.2 尺寸检查

- 9.2.1 球型立柱管、扶手管、横杆要求检查外径、壁厚,尺寸偏差应符合表 5 或者表 6 的规定。
- 9.2.2 踢脚板要求检查宽度和厚度,尺寸偏差应符合 GB/T 702 或者 GB/T 6725 的规定。

9.3 热浸锌锌层厚度检验

- 9.3.1 热浸锌表面处理的扶手管和横杆的锌层厚度应符合 GB/T 13793 的锌层厚度要求。
- 9.3.2 热浸锌表面处理的球型立柱、踢脚板及其他附件,锌层厚度应符合 GB/T 13912 的规定。

9.4 球型护栏构件荷载检验

按照本部分附录 A 的荷载检验方法,由生产厂家按批次抽样检验。

——对该批护栏扶手管样品进行荷载检验,在 1000N 集中荷载作用下的最大容许挠度不大于 $L/250$ ($L \leq 1000\text{mm}$)。

——对该批护栏横杆管样品进行荷载检验,在 700N 集中荷载作用下的最大容许挠度不大于 30mm ($L \leq 1000\text{mm}$)。

——对该批护栏立柱样品进行荷载检验,在设计荷载作用下的最大容许挠度不大于 30mm。

9.5 球型护栏现场荷载试验

9.5.1 球型护栏在现场安装完毕后,用户可进行荷载试验。在球型护栏扶手的任意点或球型立柱的顶部施加等于该型号护栏的立柱顶部荷载值的集中荷载,应满足下列要求:

- 任何构件均不应出现断裂;
- 不应发生构件与紧固件的松动或脱落;
- 负载下的最大容许挠度不大于 30mm;
- 卸载后的残余变形应不大于 $L/1000$ ($L \leq 1000\text{mm}$)。

9.5.2 球型护栏在现场安装完毕后,用户可进行球型护栏横杆荷载试验。在球型护栏横杆的任意点施加 700N 的集中荷载,应满足下列要求:

- a) 任何构件均不应出现断裂；
- b) 不应发生构件与紧固件的松动或脱落；
- c) 负载下的最大容许挠度不大于 30mm。

9.5.3 球型护栏在现场安装完毕后,用户可进行球型护栏踢脚板荷载试验。在球型护栏踢脚板的任意点施加 100N 的集中荷载,应满足下列要求:

- a) 任何构件均不应出现断裂；
- b) 不应发生构件与紧固件的松动或脱落；
- c) 负载下的最大容许挠度不大于 30mm。

9.6 检验规则

9.6.1 检验项目和检验数量

- a) 球型立柱产品外观目视检查要求为 10%,每批不少于 10 件,少于 10 件全检；
- b) 角度护栏立柱的角规检查要求为 10%,每批不少于 10 件,少于 10 件全检；
- c) 扶手管、横杆、踢脚板尺寸检验每批不少于各 3 件；
- d) 热浸镀锌层厚度检验每批不少于各 3 件；
- e) 扶手、横杆荷载检验每批不少于 1 件；
- f) 球型立柱荷载检验每批不少于 1 件。

9.6.2 组批规则

球型护栏立柱每批应由同一材料,同一型号的产品组成,且每批不超过 5000 件;扶手管、横杆管由同一材料,同一规格,与立柱相配套的钢管组成,且每批不超过 1000 件。

9.6.3 现场试验

球型护栏现场试验由需方进行,试验项目和试验数量由需方决定,供方可不到场,其试验结果应通知供方。

10 包装标志

10.1 球型护栏构件可按合同要求包装,交付现场安装。

10.2 每个包装箱的球型护栏构件产品应贴上生产厂标志,球型立柱、扶手管、横杆、弯头还应贴上规格图号标志。

附录 A
(规范性附录)
球型护栏荷载检验

A.1 球型护栏扶手的荷载检验

A.1.1 球型护栏扶手的荷载检验装置如图 A.1 所示,跨距 $L=1000\text{mm}$ 。

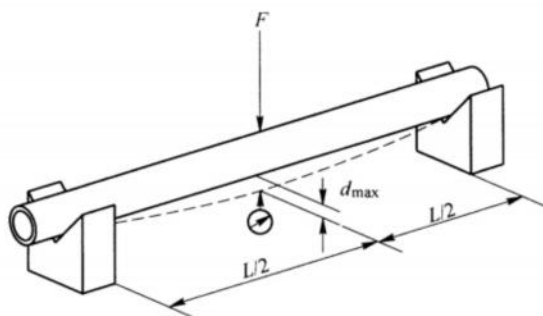


图 A.1 球型护栏扶手荷载检验

A.1.2 球型护栏扶手的试验荷载为 1000N 。

A.1.3 球型护栏扶手的荷载试验的预加载。如图 A.1 所示将 $50\%F$ 的集中荷载施加于球型护栏扶手的跨距中部上,3min 后除去荷载,将百分表重新调到零位。

A.1.4 扶手管在集中荷载 F 作用下挠度 d 的测量。将荷载 F 施加于扶手的跨距中部上,保持 5min 后开始测量。加载期间测量扶手的最大挠度 d_{max} ,如图 A.1 所示。卸载后,对残余变形进行测量并记录。

A.2 球型护栏横杆的荷载检验

横杆的荷载检验方法参照扶手的荷载检验方法,球型护栏横杆的试验荷载为 700N 。

A.3 球型立柱的荷载检验

A.3.1 立柱样品的固定

将球型立柱荷载试验样品立柱用焊接或螺栓连接方法固定在试验平台上。

A.3.2 球型立柱荷载试验的预加载

A.3.2.1 如图 A.2 所示将 $50\%F$ 的水平集中荷载施加于球型立柱的顶球上,3min 后除去荷载,将百分表重新调到零位。

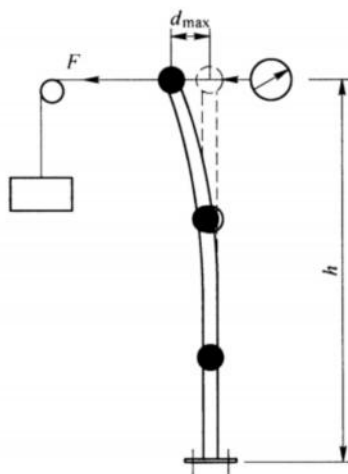


图 A.2 球型立柱的荷载检验

A.3.2.2 将水平集中荷载 F 施加于球型立柱的顶球上,保持 5min。加载期间测量球型立柱的最大挠度 d_{\max} ,如图 A.2 所示。

A.3.2.3 卸载后,对残余变形进行测量并记录。

A.3.2.4 荷载试验的结果,应符合本规范正文的要求。

A.4 球型护栏的现场荷载试验

A.4.1 球型护栏在现场安装完毕后,可进行现场荷载试验。

A.4.2 球型护栏扶手现场荷载试验装置如图 A.3 所示。具体操作如下:

- 荷载 F 逐步地、无冲击地、水平地施加于扶手的跨距中部。
- 通过如图 A.3 所示水平定位的百分表测量沿中心线产生的偏移量(d)。
- 卸载后,对残余变形进行测量并记录。

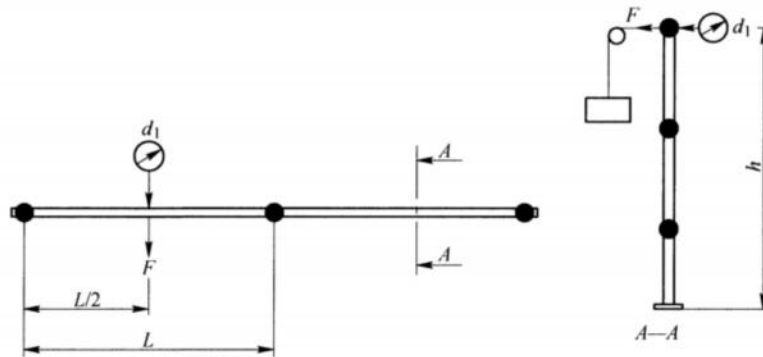


图 A.3 球型护栏扶手现场荷载试验

A.4.3 球型护栏立柱现场荷载试验装置如图 A.4 所示。具体操作如下:

- 荷载 F 逐步地、无冲击地、水平地施加于球型立柱的顶球上。
- 通过如图 A.4 所示水平定位的百分表测量沿中心线产生的偏移量(d)。
- 卸载后,对残余变形进行测量并记录。

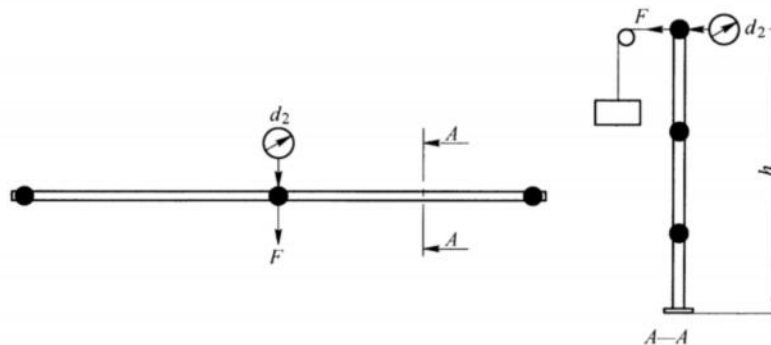


图 A.4 球型护栏立柱现场荷载试验

A.5 检验报告

检验报告应包括以下信息:

- a) 护栏规格类型;
- b) 试样尺寸及构件尺寸测量记录;

- c) 护栏扶手的试验荷载、施加位置、持续时间及最大变形挠度；
- d) 护栏横杆的试验荷载、施加位置、持续时间及最大变形挠度；
- e) 护栏立柱的试验荷载、施加位置、持续时间及最大变形挠度；
- f) 任何失败(破裂)的细节,永久变形记录或照片；
- g) 试验所使用施加荷载的传导装置详细描述,图纸或照片；
- h) 计量器具的校验记录；
- i) 试验日期及环境温度；
- j) 试验负责人的姓名、职位和资格；
- k) 试验负责人的签名。

附录 B
(资料性附录)
球型护栏强度计算

B.1 球型护栏扶手抗弯强度计算**B.1.1 扶手承受弯矩 M 采用式(B.1)计算。**

$$M=FL/4 \quad \dots\dots\dots(\text{B.1})$$

式中:

 M ——护栏扶手弯矩,单位为牛顿毫米($\text{N}\cdot\text{mm}$); F ——外加集中荷载,单位为牛顿(N); L ——护栏扶手跨距,单位为毫米(mm)。**B.1.2 扶手管截面惯性矩 I 采用式(B.2)计算。**

$$I=\pi[D^4-(D-2t)^4]/64 \quad \dots\dots\dots(\text{B.2})$$

式中:

 I ——扶手管截面惯性矩,单位为四次方毫米(mm^4); D ——扶手管外径,单位为毫米(mm); t ——扶手管壁厚,单位为毫米(mm)。**B.1.3 扶手管截面模量 W 采用式(B.3)计算。**

$$W=\pi[D^4-(D-2t)^4]/32D \quad \dots\dots\dots(\text{B.3})$$

式中:

 W ——扶手管截面模量,单位为三次方毫米(mm^3); D ——扶手管外径,单位为毫米(mm); t ——扶手管壁厚,单位为毫米(mm)。**B.1.4 扶手抗弯强度 σ 采用式(B.4)计算。**

$$\sigma=M/W \quad \dots\dots\dots(\text{B.4})$$

式中:

 σ ——扶手抗弯强度,单位为牛顿每平方米(N/mm^2); W ——扶手管截面模量,单位为三次方毫米(mm^3); M ——扶手管弯矩,单位为牛顿毫米($\text{N}\cdot\text{mm}$)。**B.1.5 扶手抗弯强度验算**

扶手最大受弯强度不大于钢材抗弯强度设计值。

$$\sigma/f\leq 1 \quad \dots\dots\dots(\text{B.5})$$

式中:

 σ ——扶手抗弯强度,单位为牛顿每平方米(N/mm^2); f ——钢材抗弯强度设计值,单位为牛顿每平方米(N/mm^2)。**B.1.6 扶手最大弯曲挠度 d_{\max} 采用式(B.6)计算。**

$$d_{\max}=FL^3/48EI \quad \dots\dots\dots(\text{B.6})$$

式中:

 d_{\max} ——扶手最大弯曲挠度,单位为毫米(mm); F ——外加集中荷载,单位为牛顿(N); L ——护栏扶手计算跨距,单位为毫米(mm);

E ——材料弹性模量,单位为牛顿每平方米(N/mm^2);

I ——截面惯性矩,单位为四次方毫米(mm^4)。

B. 2 球型立柱强度计算

B. 2. 1 球型立柱承受的弯矩 M 采用式(B. 7)计算。

$$M = Fh \quad \dots\dots\dots(\text{B. 7})$$

式中:

M ——球型立柱弯矩,单位为牛顿毫米($\text{N} \cdot \text{mm}$);

F ——外加集中荷载,单位为牛顿(N);

h ——球型立柱高度,单位为毫米(mm)。

B. 2. 2 球型立柱简化计算模型截面惯性矩 I

球型立柱空心球节点结构的存在,增加了立柱的抗弯能力。为了方便计算,将球型立柱简化为计算模型,视为等截面钢管立柱。简化计算模型的截面参数为球型立柱钢管截面参数。

$$I = \pi[D^4 - (D - 2t)^4]/64 \quad \dots\dots\dots(\text{B. 8})$$

式中:

I ——截面惯性矩,单位为四次方毫米(mm^4);

D ——球型立柱柱管外径,单位为毫米(mm);

t ——球型立柱柱管壁厚,单位为毫米(mm)。

B. 2. 3 球型立柱简化计算模型的截面模量 W 采用式(B. 9)计算。

$$W = \pi[D^4 - (D - 2t)^4]/32D \quad \dots\dots\dots(\text{B. 9})$$

式中:

W ——截面模量,单位为三次方毫米(mm^3);

D ——球型立柱柱管外径,单位为毫米(mm);

t ——球型立柱柱管壁厚,单位为毫米(mm)。

B. 2. 4 球型立柱抗弯强度 σ 采用式(B. 10)计算。

$$\sigma = M/W \quad \dots\dots\dots(\text{B. 10})$$

式中:

σ ——球型立柱抗弯强度,单位为牛顿每平方米(N/mm^2);

W ——截面模量,单位为三次方毫米(mm^3);

M ——弯矩,单位为牛顿毫米($\text{N} \cdot \text{mm}$)。

B. 2. 5 球型立柱抗弯强度验算

球型立柱最大受弯强度不大于钢材抗弯强度设计值。

$$\sigma/f \leq 1 \quad \dots\dots\dots(\text{B. 11})$$

式中:

σ ——球型立柱抗弯强度,单位为牛顿每平方米(N/mm^2);

f ——钢材抗弯强度设计值,单位为牛顿每平方米(N/mm^2)。

B. 2. 6 球型立柱最大弯曲挠度 d_{\max} 采用式(B. 12)计算。

$$d_{\max} = Fh^3/3EI \quad \dots\dots\dots(\text{B. 12})$$

式中:

d_{\max} ——球型立柱最大弯曲挠度,单位为毫米(mm);

F ——外加集中荷载,单位为牛顿(N);

h ——球型立柱高度,单位为毫米(mm);

E ——材料弹性模量,单位为牛顿每平方米(N/mm^2);

I ——截面惯性矩,单位为四次方毫米(mm^4)。

B.3 球型护栏强度计算实例

BG-500-1200 球型护栏强度计算。

BG-500-1200 球型护栏参数:

扶手钢管外径:33.5mm,壁厚 2.5mm。

横杆钢管外径:26.8mm,壁厚 2.0mm。

球型立柱钢管外径:42mm,壁厚 3.0mm。

空心球外径:65mm,壁厚 3.0mm。

球型立柱间距 $L=1000\text{mm}$ 。

球型立柱高度 $h=1230\text{mm}$ 。

底板 $10\text{mm}\times 50\text{mm}\times 100\text{mm}$ 焊接锚固。

荷载要求:

扶手水平集中荷载 $F=1000\text{N}$ 。

球型立柱顶部的集中荷载 $F=500\text{N}$ 。

选用材料为 Q235B:

材料弹性模量 $E=206000\text{N}/\text{mm}^2$ 。

钢材抗弯强度设计值 $f=215\text{N}/\text{mm}^2$ 。

B.3.1 球型护栏扶手强度计算

护栏扶手承受弯矩 M

$$M=FL/4=250000\text{N}\cdot\text{mm}$$

护栏扶手管截面尺寸, $D=33.5\text{mm}$, $t=2.5\text{mm}$ 。

扶手管截面面积

$$A=\pi[D^2-(D-2t)^2]/4=243.47\text{mm}^2$$

扶手管截面惯性矩

$$I=\pi[D^4-(D-2t)^4]/64=29437.46\text{mm}^4$$

扶手管截面模量

$$W=\pi[D^4-(D-2t)^4]/32D=1757.46\text{mm}^3$$

护栏扶手抗弯强度

$$\sigma=M/W=142.25\text{N}/\text{mm}^2$$

扶手抗弯强度验算:

扶手抗弯强度满足设计要求判据 $\sigma/f\leq 1$ 。

$$\sigma/f=0.66<1$$

强度验算 $\sigma/f<1$ 满足设计要求。

护栏扶手最大弯曲挠度

$$d_{\max}=FL^3/48EI=3.44\text{mm}$$

$$L/250=4\text{mm}$$

符合最大弯曲挠度小于 $L/250$ 的要求。

B.3.2 BG-500-1200 球型立柱强度计算

球型立柱承受的弯矩

$$M=Fh=615000\text{N}\cdot\text{mm}$$

球型立柱简化计算模型截面惯性矩

$$I = \pi[D^4 - (D - 2t)^4]/64 = 70297.06\text{mm}^4$$

球型立柱简化计算模型截面模量

$$W = \pi[D^4 - (D - 2t)^4]/32D = 3347.48\text{mm}^3$$

球型立柱抗弯强度

$$\sigma = M/W = 183.72\text{N/mm}^2$$

$$\sigma/f = 0.85 < 1$$

球型立柱强度验算 $\sigma/f < 1$ 满足设计要求。

球型立柱最大弯曲挠度 d_{\max}

$$d_{\max} = Fh^3/3EI = 21.42\text{mm}$$

符合最大弯曲挠度小于 30mm 的要求。

B.3.3 BG-500-1200 球型立柱球接点截面积验算

空心球赤道位置截面积 A_{\max}

$$A_{\max} = \pi[D^2 - (D - 2t)^2]/4 = 584.34\text{mm}^2$$

最大开孔为扶手管接点开孔 $\leq 35\text{mm}$ 。

空心球开孔后最小截面积 A_{\min}

$$A_{\min} = 384.03\text{mm}^2$$

球型立柱管截面积 A

$$A = 367.57\text{mm}^2$$

空心球开孔后最小截面积 A_{\min} 不小于球型护栏立柱管截面积 A , 符合球型立柱简化计算模型的截面设定参数。