

苏联 姆·依·斯洛波特金 合著
德·耶·伊斯格列茨基

楊 福 新譯

矿井提升罐笼的 运动学动力学 及其强度计算

煤炭工业出版社

矿井提昇罐籠的运动学、 动力学及其强度計算

苏联 姆·依·斯洛波特金 德·耶·伊斯格列茨基著

楊 福 新譯

煤炭工業出版社

本書研究了翻轉式和井翻轉式矿井提昇罐籠的計算方法。这些在實踐中应用的方法，可以計算承受冲击的框架式和混合式的非翻轉罐籠。

本書還闡述了翻轉式罐籠卸壓裝置的設計方法(对箕斗也是适用的)、动力、靜力、慣性力的确定方法和相应的运动学的研究，罐籠元件产生的实际应力的試驗結果；詳細地研究了用各种方法所作的計算例題。

本書供科学研究院、煤矿和金屬矿工業企業的机械工程技術人員和設計人員之用。

КИНЕМАТИКА, ДИНАМИКА И РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ КЛЕТЕЙ ШАХТНОГО ПОДЪЕМА

联苏М.И. СЛЮ БОДКИН Д. Е. ИСКРИЦКИЙ著

根据苏联国立煤矿技术書籍出版社(УГЛЕТЕХИЗДАТ)

1954年莫斯科第1版譯

615

矿井提昇罐籠的运动学、动力学及其强度計算

楊 福 新譯

*

煤炭工業出版社出版(地址：北京東長安街煤炭工業部)

北京市書刊出版業營業許可證出字第084号

煤炭工業出版社印刷厂排印 新华書店發行

*

开本85×116.8公分 $\frac{1}{32}$ *印張13 $\frac{1}{2}$ *插頁8*字數293,000

1957年10月北京第1版

1957年10月北京第1版第1次印刷

統一書號：15035·375 印數：0,001—800冊 定价：(10)2.60元

前 言

由于苏联共产党第十九次代表大会的指示向煤炭工業和机械制造工業提出了任务，以及由于矿井的生产能力、提昇产量和提昇盛器載重量的增加，地面裝置工作自动化的推行，所以，罐籠的运动学和动力学計算問題、翻轉式罐籠卸載裝置的設計以及矿井提昇罐籠强度計算等問題，就具有重大的意义。

在本書中，自确定于罐籠各种工作情况下作用在它上面的外力开始，而以各个部件的計算为終了，全面地研究了罐籠的計算。列举的計算例題，可使讀者熟悉进行計算的技巧。

書中所載关于确定罐籠元件中实际应力的实验研究的簡要結果，使我們有可能估計某些計算示意圖与实际結構間的符合程度。

作者对工程师 K. K. 杜洛維洛夫和 A. П. 瓦西里夫協助完成本書数值的和附加的計算表示謝意。

編著本書的工作在作者之間是这样分工的：

第三、九和十章，第六章的 § 3，第七章的 § 3 和 4，以及第八章的 § 3 由 M. И. 斯洛波特金編写。

第一、二、四、五、六（除 § 3 外），第七章（除 § 3 和 4 外），第八章的 § 5、6 和 7，第十一章，第十二章的 § 1 和例題 1 及 3 由 Д. Е. 伊斯格列茨基編写。

第八章（除 § 3、5、6 和 7 外），第十二章的例題 2 和 4，以及前言和緒論是由作者合写的。

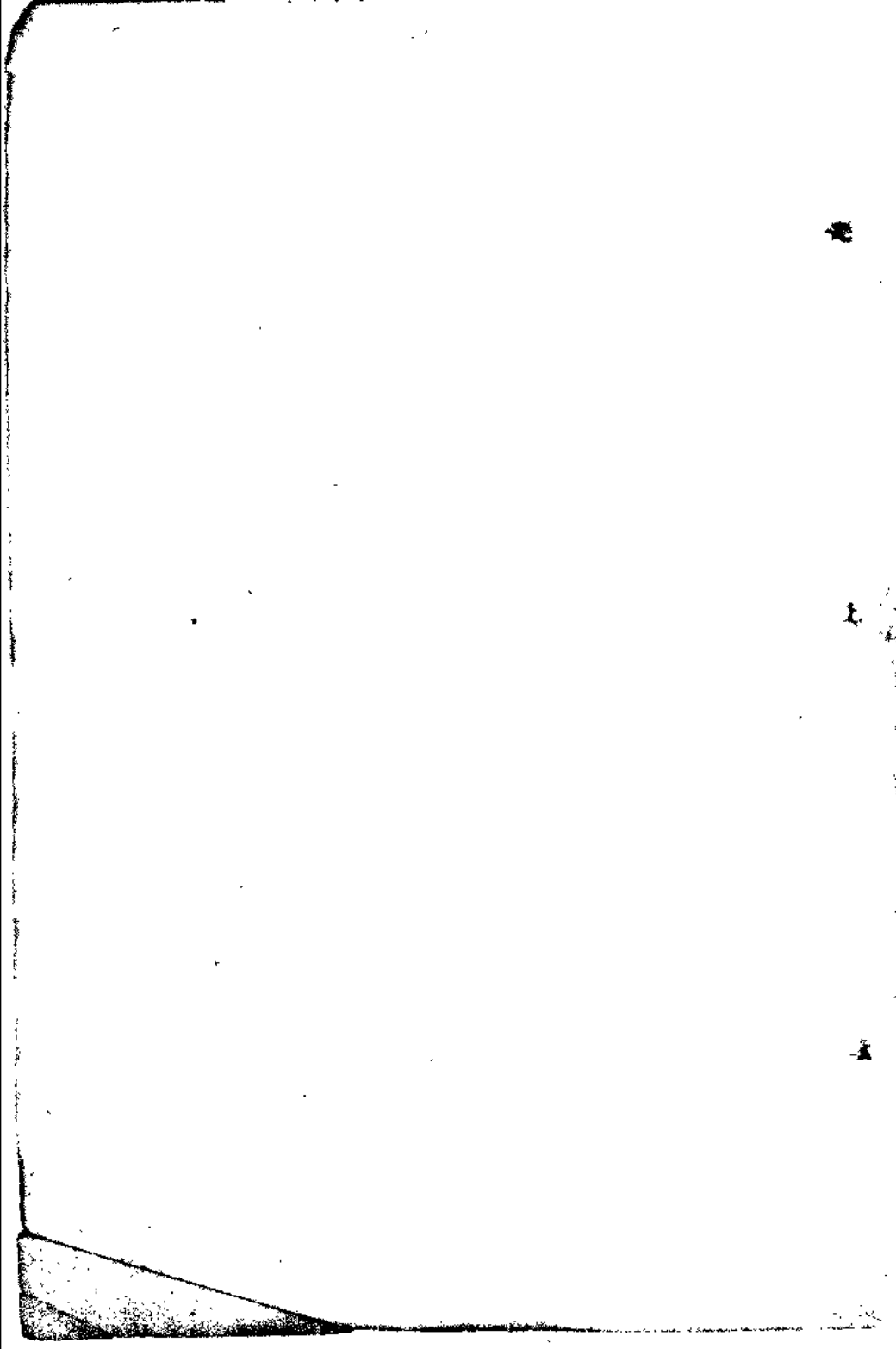
目 录

前 言	
緒 論	7
第一章 矿井罐籠的分类及其構造。主要尺寸。荷重	
与計算情形	11
§ 1. 矿井罐籠的分类	11
§ 2. 矿井罐籠的構造	14
§ 3. 主要尺寸	23
§ 4. 荷重	23
§ 5. 計算情形	32
第二章 罐籠承载元件的材料	44
§ 1. 型材种类	44
§ 2. 承载結構元件的截面	45
§ 3. 材料的机械性質	47
§ 4. 許用应力	48
第三章 桿件系統計算緒論	59
§ 1. 超靜定次数	59
§ 2. 支座的構造和反力的确定	62
§ 3. 弯矩、縱向力与切力圖的繪制	64
§ 4. 桿件系統內力的功和变位	71
§ 5. 按最小功方法計算超靜定系統	75
§ 6. 功的相互性定理和变位的相互性定理。摩尔法和 維立沙金法	76
§ 7. 用力法計算超靜定系統	82
§ 8. 框架計算的驗算	87
§ 9. 超靜定桁架的計算	90
§ 10. 变位法的实質	91
§ 11. 用变位法計算框架	97

§ 12. 圖形相乘的方法。正則方程式系数的校對	103
§ 13. 聯立正則方程式的解算	106
§ 14. 超靜定系統的其他計算方法	109
第四章 計算示意圖的選擇	110
§ 1. 術語	110
§ 2. 空間度	111
§ 3. 側盤體各種可能的計算示意圖	112
§ 4. 裝一個礦車的單層非翻轉式罐籠計算示意圖的方案	114
§ 5. 其他罐籠的計算示意圖	119
§ 6. 計算示意圖和實際結構的相適性	120
第五章 框架式側盤體桿件中靜力的確定	122
§ 1. 一般內容	122
§ 2. 超靜定框架系統的力法計算	124
§ 3. 超靜定框架系統的變位法計算	131
§ 4. 用固定彎矩分配法計算超靜定框架系統	137
第六章 混合式和鉸鏈式側盤體桿件內靜力的確定	153
§ 1. 混合系統的力法計算	153
§ 2. 給定應力法	161
§ 3. 給定應力的圖解分析計算法	167
§ 4. 鉸鏈式盤體桿件內力的確定，用力法計算	177
第七章 罐籠桿件中動力的確定	181
§ 1. 側盤體節點的變位、剛度	181
§ 2. 關於動力計算法的一般見解	183
§ 3. 動力計算的能量法	191
§ 4. 總合的計算曲線	195
§ 5. 基於用一個質量代替罐籠質量的動力計算	202
§ 6. 用四個集中質量代替罐籠質量時的動力計算	207
§ 7. 自由度為變數時罐籠的動力計算	213
§ 8. 動力應力的實驗確定	222
第八章 翻轉式罐籠的運動學與力的計算	228

§ 1. 計算情形与几何特性	228
§ 2. 繃籠经过卸載曲軌时所受的力	235
§ 3. 确定外力的綜合方法	248
§ 4. 动力系数	260
§ 5. 元件內力的确定	261
§ 6. 其他計算情形	271
• § 7. 計算的內力和应力	274
第九章 卸載裝置的設計	275
§ 1. 一般情况	275
§ 2. 速度圖	276
§ 3. 翻架平稳轉动的条件	278
§ 4. 卸載曲軌半徑的确定	284
§ 5. 卸載曲軌的設計	287
§ 6. 翻架側面外形的設計	288
§ 7. 翻架側面座板的設計	289
§ 8. 联立方程式的解算	294
§ 9. 座板的設計步驟	296
§ 10. 安裝在井架上的滾筒的外形設計	297
§ 11. 翻架自由回復原位的条件	298
§ 12. 翻架軸距長度的确定和压力角的校對	301
§ 13. 卸載曲軌的方程式	302
§ 14. 折算的摩擦系数	308
§ 15. 側面座板的圖解繪制法	309
§ 16. 承托滾筒中心位置与許用压力角的关系	315
§ 17. 結論	319
第十章 懸掛裝置主要零件的計算	320
§ 1. 一般內容	320
§ 2. 鏈条	322
§ 3. 小軸、螺釘和軸頸	323
§ 4. 耳柄的計算	325
§ 5. 吊桿的計算	336

§ 6. 搖臂.....	337
§ 7. 叉子.....	338
§ 8. 轉環.....	340
§ 9. 螺母和帶絲扣的小軸.....	342
§ 10. 連接環和弧形環	343
§ 11. 鉸接鏈條	351
§ 12. 桃形環	353
第十一章 罐籠承載結構元件應力的校對	354
第十二章 罐籠各種計算方法的比較與例題	365
§ 1. 計算方法的比較.....	365
§ 2. 例題.....	368
例題1. 用能量法確定裝一個兩噸礦車的單層罐籠的側盤 體元件內的計算力.....	368
例題2. 用力法確定當裝一個3噸礦車的框架式單層罐籠， 下落到罐座上時側盤體元件中的內力.....	377
例題3. 用固定彎矩分配法確定裝一個兩噸礦車的單層罐籠側 盤體元件中的計算內力.....	387
例題4. 用給定應力法確定裝兩個3噸礦車的帶尾繩的雙層罐籠 側盤體元件中的內力.....	415



緒 論

尚在前一世紀的初期，矿井罐籠就开始被用于采矿业工業中，而研究罐籠承载元件强度动力計算問題的第一部著作，則是在1909年由叶卡吉林諾斯拉夫斯基高等矿业学校C. A. 沙布洛夫斯基教授發表的。

1929—1935年，M. И. 斯洛波特金和Г. В. 布哈聶茨夫發表了关于罐籠动力計算法的著作。按照他們所研究出的方法，矿井建設公司設計了現代的大載重量的無斜桿式罐籠。矿井建設公司的标准罐籠的結構在很多年来仍旧沒有變更。

在五年計劃的年代里，由于苏联的生产和科学在历史上出現了空前未有的發展，使工程構筑物和結構的計算方法大大地改进了。因此，应將当时較之以前采用的靜力計算躍进了一大步的、非翻轉式罐籠承载構架的动力計算提到符合于理論知識的現代水平，这是自然的事情。到目前为止，在技术文献中一般还没有完整的翻轉式罐籠的計算方法，因此，發表作者研究出的这种計算方法是很必要的。

此外，还产生了新的要求：增加提昇产量，減輕罐籠的死重，增大深矿井提昇时罐籠的載重量和提昇速度。

由于上列情况，苏联煤炭工業部的設計機構对罐籠的計算引起了很大的注意。

近年来，發表了下列关于罐籠計算問題的著作：苏联科学院A. C. 伊里伊契夫通訊院士、З. М. 費道洛夫、Д. Н. 貝林諾夫的論文和B. M. 潑列西維珍所著的書。在这方面，尚有其他一系列的研究。

在苏联积累的罐籠設計資料和所进行的研究，使我們有可能改进罐籠运动学的、动力学的和力的計算方法。

任何计算方法，都是以一系列简化实际现象的假定作基础的。这些假定是从主要的实际现象中选取的，并使我们可能从一定的可靠程度确定结构的实际状态。因为罐笼是受冲击作用的多次超静定的空间系统，因而罐笼的计算问题是属于矿业科学中极其复杂的一个领域——矿山空间杆件结构动力学的范围内的。

矿井罐笼的计算示意图应接近于实际结构的示意图，并且应当符合于作为计算基础的假定。否则，在复杂计算示意图的计算工作中所消耗的大量劳动，可能是毫无结果的；甚至把罐笼当作有几个自由度的系统计算时达到的“精确度”也只是表面的。

当研究代替罐笼的几个质量的振动时得到的精确度，由用三个质量代替沿结构分布不均的罐笼全部质量的事实本身所抵消，这是因为三个质量在动力学上并不等效于罐笼质量。同时（例如计算翻转式罐笼时），尚必须作其他一系列的假定：认为翻架和框架的许多元件是绝对刚性的；认为当罐笼下落到罐座上时罐座梁是完全不变形的；并且不考虑当罐笼下落到罐座上时翻架杆件的减载作用，等等。

这些假定根本不符合实际现象，以致使在细心计算的结果下得到的点的变位、各个阶段終了的速度和时间等的数值，成为完全不可靠的。如果舍去所有上列假定，那么把罐笼当作有几个自由度计算，就甚难执行。

被选择的计算方法，应足够正确地反映罐笼承载元件工作的实际条件，并同时在计算工作的烦琐程度上和校对计算精确度的可能性方面，对实际计算的应用上必须是易于做到的。一般，所采取的计算示意图愈接近于实际结构，计算就愈烦琐。例如：如果认为竖杆和弦杆的连接不是铰链的而是弹性的时，那么计算示意图就更趋近于实际结构，但使计算却大大地复杂

化了。

为了計算罐籠承載結構的強度，必須：

1) 選擇給定材料的許用應力，而在某些情形下也要選擇許用的變形；

2) 研究相對於罐籠使用條件的各種計算情形，並選擇這些計算情形的計算示意圖；

3) 確定在各種計算情形下可能作用在罐籠及其元件上的最大荷重；

4) 按照所選擇的計算示意圖選取確定罐籠元件中的內力的方法，並求出這些內力；

5) 對承載結構每一元件，求得在其使用過程中元件內產生的最大力，並按這些力確定應力；

6) 校對各元件及整個結構的剛度。

作者利用了自己設計和計算各種結構的礦井罐籠方面積累的經驗，力求在本書中在實用上十分全面地闡明上述問題。為使廣大的設計人員易於閱讀本書，因此介紹了簡短的礦井罐籠超靜定系統計算的緒論，這可使讀者熟悉在計算這些超靜定系統時所應用的最主要的原理。

確定作用在翻轉式罐籠上的荷重的方法，對於翻轉式罐籠的計算是甚為重要的，但這在技術文獻中闡明得不够詳細。這樣，在設計時就引起錯誤，以致翻轉式罐籠經常不能滿意地工作，並很快報廢。以正確的方法確定作用在翻轉式罐籠上的外力，並自確定罐籠元件內力開始到確定其應力終止，作者給予了應有的注意。

我們煤炭工業主要任務之一，就是實現生產過程的綜合機械化，而其高級階段應該是自動化控制。地面使用的裝置和設備，應當根本改進。由於這個緣故，使翻轉式罐籠無沖擊地和平穩地工作，在增長使用期限和保證安全的條件下借增大卸載

速度来增加提昇产量，就成为極其重要的任务。本書考虑到上面提出的要求，叙述了卸載裝置的設計和計算方法。

由于在罐籠的尺寸、悬掛裝置和防墜器的結構和配置、罐籠元件中和悬掛裝置以及防墜器零件中产生的內力之間存在密切的关系，因此在本書中同时引述了这些裝置的主要零件的強度計算。

罐籠元件中的理論計算应力是否合于实际工作应力，到目前为止还没有进行过試驗。为了驗算理論的計算应力，作者認為必須进行实验工作，在矿井条件下直接研究罐籠运轉过程中其元件內产生的实际应力。將書中所載簡短的試驗結果和作者的理論研究比較，当能帮助煤炭工業的工作人員更深刻地去理解像矿井罐籠这种結構的复杂計算和設計。

第一章 矿井罐籠的分类及其構造。主要尺寸。荷重与計算情形

§ 1. 矿井罐籠的分类

罐籠可以按照不同的特征分类。在本書中，罐籠是根据影响結構特点和决定内力特性的特征分类的，亦即是按照影响到选取計算示意圖的特征分类的。同时仅研究目前在苏联新型和現代化煤矿中所采用的罐籠。

从計算示意圖的观点出發，按矿車卸矿的方法把罐籠分为翻轉式与非翻轉式的，这是主要的分类方法。

翻轉式罐籠与非翻轉的不同：非翻轉式罐籠(圖 1, 2 和 4)本身是單个桿件系統，而翻轉式罐籠(圖 3)則是由兩個桿件系統——用 O 軸相連接的翻架和框架組成。翻轉式罐籠經過卸貨曲軌时，這兩個桿件系統所承受的力是变化的。此外，翻轉式罐籠桿件系統的超靜定次數較非翻轉式罐籠桿件系統的超靜定次數为少。

按層数，可將非翻轉式罐籠分成單層的(圖 1.)和雙層的(圖 2)。

雙層罐籠的超靜定次數較單層罐籠的超靜定次數大約高一倍。这样，由于需要解算具有多数未知数的綫性方程式，因此就使雙層罐籠的計算复杂化。

按每層中所裝矿車的数目，有每層裝一个矿車的罐籠(圖 1, 2)和每層裝兩個矿車的罐籠(圖 4)。每層內的矿車数，决定了車輪作用在罐籠承載結構上的集中荷重的数目。

按照煤炭工業中所采用的矿車的載重量，苏联国家标准規定三种标准型矿車：一吨的；兩吨的和三吨的。在采矿业中，矿車的載重量決定于其容积，容积的变化范围由 0.38 立

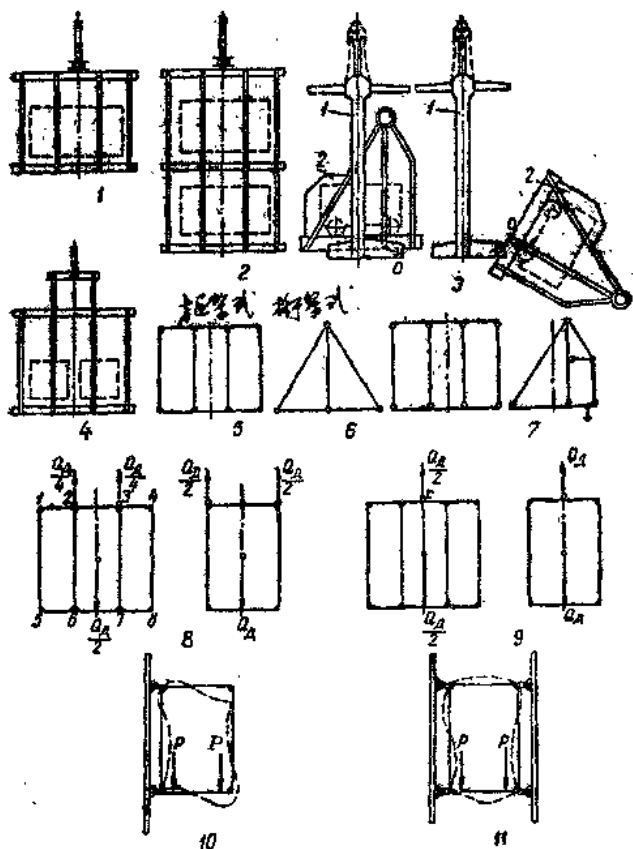


圖 1-11

圖 1 單層非翻轉式罐籠。圖 2 雙層非翻轉式罐籠。圖 3 翻轉式罐籠：1—框架；2—翻架。圖 4 一層裝兩個矿車的罐籠。圖 5 框架式側體。圖 6 桁架式側體。圖 7 混合式側體。圖 8 罐籠被矿井建設公司的防墜器托住時的計算示意圖。圖 9 罐籠被 LB 型防墜器托住時的計算示意圖。圖 10 採取單側佈置的罐導時側體的變形。圖 11 採取雙側佈置的罐導時側體的變形。

方公尺到 2.05 立方公尺。对于比重为 1.6 吨/立方公尺的矿石，矿车相应的载重量等于：0.63 吨；1.6 吨；2.0 和 3.4 吨。

提昇高度大时，为了平衡首绳的重量，在罐笼上悬挂尾绳。这样，在罐笼上悬挂尾绳的地方由其自重（见表 2）引起很大的附加荷重。因此尾绳影响到承载结构元件中内力的大小。

罐笼侧盘体杆件在节点上连接的方法，也影响到计算示意图。杆件为刚性连接时，得到“框架式”罐笼（图 5）；杆件为铰接时，得到“桁架式”罐笼（图 6）；部分杆件刚性连接和部分杆件铰接时，得到“混合式”罐笼（图 7）。由于框架系统是高大超静定的，因此其计算是最烦琐的。

杆件用铆接节点或焊接节点相连接的方法，同样影响到罐笼的结构和计算示意图。在不久以前，还仅采用具有铆接节点的罐笼，因为大家认为焊接节点不能满意地承受冲击（动力）荷重。现在则已证明，侧面焊缝是有足够塑性的，并且能满意地承受冲击荷重。因此在符合必要的焊接质量条件下，焊接可应用在罐笼中。

罐笼的计算示意图和在侧盘体杆件中产生的内力的大小，决定于防坠器的形式。防坠器为当首绳被断时防止罐笼下落而设置的。目前采用的防坠器主要有两种：矿井建设公司的防坠器和中央防坠器局设计的防坠器（以下简称为 LJB 型防坠器）。当首绳被断时，矿井建设公司的防坠器是在节点 2 和 3（图 8）托住罐笼的，LJB 型防坠器是经中心杆和横梁在侧盘体的 C 点托住罐笼的（图 9）。

计算当罐笼被防坠器托住的情形时，承载结构的计算示意图同样与罐笼的位置有关。

假使罐笼是单侧布置的（图 10），则罐笼被矿井建设公司的防坠器托住时，因为由矿车引起的荷重 P 的位置对支座（悬挂点）存在很大的偏心，以及由此引起的罐笼的变形，就使罐

籠处于極其不利的条件下。

如果籠导是双側佈置的(圖 11),則荷重 P 就对称于支座,因而当矿井建設公司的防墜器托住籠籠时,籠籠的扭曲也就不复存在。

§ 2. 矿井籠籠的構造

概 述

設計矿井籠籠时,承載結構的設計和計算同时进行。

遵循經驗,將計算上和結構上的要求相对比,求得能滿足于一般相矛盾的要求的合理解答。这些要求是:节省材料,制造簡單和有足够的强度。因此为了正确地选择籠籠强度的計算方法,必須熟悉它們的構造。

下面列出并簡短地介紹苏联矿井中所采用的主要标准籠籠的圖紙,以及某些部件的構造。

裝一个兩吨矿車的單層籠籠(圖 12)

籠籠的箱体是由两个垂直的、三节間的(四豎桿的)側盤体組成的鑄制鋼結構。两个側盤体互相用橫梁連接。

組成籠籠上弦 1 和下弦 2 的水平槽鋼用鋼板复盖,以此作籠籠的頂盖和地板。頂盖由三部分組成:中間的固定部分 3 和为在籠籠中放置長的物件时可放倒在环的边上的兩部分 4。籠籠的側盤体由用 2 公厘厚鋼板护住的豎桿 5 和弦桿組成。箱体的側面設置双扇的門 6。

用以連接籠籠和提昇鋼繩的悬挂裝置 7, 由用橫梁和籠籠連接的中心桿及四根保安鏈条組成。保安鏈条固定在承載結構的中間豎桿和上弦相連接的地方。

此籠籠裝备有用于木質籠导的矿井建設公司的防墜器 8。在有可能采用金屬籠导或鋼繩籠导代替木質籠导时,也可采用 $ЛБ$ 型防墜器。