维普资讯 http://www.cqvip.com

桥梁、水平转体法、施工技术 ~~关键技术~~ 支撑式、承重铰

桥梁水平转体技术的最新研究成果

U445.465

22-26

钟启宾

一、桥梁水平转体法（以下简称平转法）的特点

平转法是桥梁跨越深谷、急流、运河、公路、铁路等特殊条件下的一种有效方法。它的施工与桥下空间无关，极大地改善了施工条件、缩短了对桥下的干扰时间、节省了施工费用、保证了施工的安全、提高了施工的机械化程度。因此，在条件具备的地点（有场地、有设备、有技术），此法往往是其他方法所不能竞争的。

二、归纳的资料

1、国外平转法施工桥例（见表1）

2、中国采用平转法施工的桥梁（见表2）

三、平转法的关键技术

1、平转过程的支撑方式

我国采用平转的桥梁，大都采用“单点”支撑。即利用结构的对称性或附加平衡重的方式，实现了由单一转铰承重的平转；当桥梁的跨度较大、纵横向稳定要求较高时，往往采用多点支撑。即除了中心平转铰承重，在平衡孔的尾部设置辅助支撑和副滑道，这种方式比单点支撑方式更加稳定可靠。例如比利时的本一艾因桥和中国的大里营桥就是这样做的。关于这一主题，笔者在下列论文中作了系统介绍：

“桥梁水平转体法综述”——铁道建筑1992.12

“桥梁水平转体法施工的成就及发展”——铁道标准设计1992.6

2、承重铰的构造

承重铰由承重盘和平衡盘两部分构成。在国外大都是采用圆环形滑道，既是承重盘又是平衡盘，其界面为不锈钢和四氟板（聚四氟乙稀粘贴橡胶板）。

在中国，20世纪70—80年代的公路桥上，平转承重盘的构造为避免采用价格昂贵的不锈钢、

表1 国外平转法施工桥例

序号	桥　名	桥　型	国　名	跨径（m）	平转重量t	年　份
1	威悉河桥	PC连续梁	德国	46.5+87+46.5		1975
2	多瑙河运河桥	斜拉桥	奥地利	56+119+56	4000	1976
3	运河桥	T型钢构	原东德	53+52		1976
4	梅兰桥	人行斜拉桥	法国	23.4+79+23.4		1982
5	伊尔霍夫桥	斜拉桥	法国	20+79+20		1982
6	东海道支线桥	钢梁桥（铁路）	日本	62.4	280	1982
7	拉夫雷奇卢瓦河桥	PC连续桥	法国	26+64+26		1984
8	丰特纳尔桥	连续梁	法国	29+68.3+29		1984
9	梦之岛桥	钢梁/铁路	日本	96+93+80	1200	1988
10	本-艾因桥	斜拉桥	比利时	3-42+168	19500	1991
11	Tgv铁路桥	PC连续桥	法国	60+100+60	4000	1999

钟启宾 铁道部第十八工程局教授级高工

维普资讯 http://www.cqvip.com

四氟板而采用了平面普通钢板，它的摩擦系数不稳定，需要很大的牵转动力。后来，以曾达桥为代表的平转承重盘，采用了混凝土球铰。这是中国工程技术人员的创举，在许多平转桥梁施工中，这种球铰曾经发挥了很大作用。只是在相当长的时间里，混凝土球铰的使用停留在经验阶段，没有上升至理论高度。它的优点除了价格便宜、结构简单外，更加主要的是在理论方面，球铰的必要牵转扭矩为$M=2\times\mu\times P\times R/3$，这是笔者通过二重积分推导出来的精确公式，$\mu$是球铰界面的静摩擦系数、P是转体总重、R是球铰的平面半径。而圆环形承重滑道的必要扭矩为：

$$M=2\times\mu\times P\ (R_2^3-R_1^3)\times/3\ (R_2^2-R_1^2)$$

R_2为圆环形滑道的外径、R_1为内径。设计时，通常以8-10MPa的承压强度确定R，μ一般采用0.15~0.2。

（1）在同样的条件下，球铰平转的必要扭矩比圆环形承重滑道的必要扭矩小。当牵转力臂相同时，球铰的平转牵转力小，因此，中国的平转桥梁坚持采用球铰作为承重盘。

（2）球铰的材料和工艺必须改进。混凝土球铰虽然曾经发挥巨大作用，但是应该看到，它的施工工艺复杂、繁琐、费时、困难。往往仅球铰部分的施工就近两个月。随着国家工业和加工工艺技术的发展和提高，使球铰上下覆盖钢板成为现实，这些钢板可以在工厂匹配旋制得非常吻合光滑，下板安装后，整体灌注下盘微膨胀混凝土，完全可以保证下板同下盘混凝土的整体性和下盘混凝土的密实。

以往，球铰的球面是向上凸起的，当转体重量很大时，球铰的球面向下凹也是可行的。这样做，下盘的整体质量更容易保证，平转过程会更加平稳。（北盘江桥的球铰即这样设计）

（3）球铰界面的润滑材料

由于球铰润滑材料的摩擦系数关系到平转的牵转力，实践证明黄油四氟粉有许多缺点，应该采用硅脂四氟粉,它的动摩擦系数经试验仅0.06。润滑材料在球铰安装、涂抹后，必须用石蜡将上下盘周边封闭，以免硅脂干燥或流进杂物。

（4）球铰上下盘之间必须设置定位轴，70年代许多平转桥梁未设定位轴，曾经造成平转偏离中心的事故。后来，国内外的平转桥梁球铰均设置定位轴。

（5）球铰的球面矢高以15cm为佳，球面半径可根据球铰平面半径和矢高计算。都拉营桥的承重盘为平面钢板铰，曾经使一个T构的平转牵转力大于设计值5倍！原因就是平面钢板的界面并不十分吻合，润滑材料又不易保持，造成界面的摩擦系数随着平转的进行越来越大。因此，今后平转桥梁的球铰方案必须坚持。

顺便强调指出一种错误观点：认为都拉营桥采用平面钢板铰使一个T构的平转牵转力大于设计值5倍的原因是摩擦生热造成润滑材料不能正常工作而增大了摩擦系数。这种观点在推导计算公式时，忽略一个主要的因素：速度。当平转速度达到每分钟数圈时，转盘界面摩擦生热是可能的，但是，桥梁平转的角速度是非常缓慢的，它根本不会使平转界面摩擦生热。因此，造成都拉营桥T构平转非常困难的一个根本原因是平面钢板铰的界面不平而使摩擦系数增大。“摩擦生热”的观点，对球形铰的良好功能作出不合乎逻辑的解释——为什么球形铰在平转过程中不因“摩擦生热”而发生困难呢?

（6）平衡盘的构造

在单点平转桥梁施工中，平衡盘的作用是在任何状态下都能保持桥梁的平衡，它的作用是非常关键的。早期的平衡盘是采用上盘周圈的下缘安装钢轮，与下盘表面保持10mm距离。后来发展到采用混凝土支撑腿代替钢轮，平转时仍然因“擦脚”而停顿。今后，应当采用上盘的混凝土

维普资讯 http://www.cqvip.com

支撑脚和下盘之间设置不锈钢、四氟板，其间隙以5mm为宜。

（7）保持平衡的辅助措施

对于连续梁、T形钢构的平转平衡，曾经采用砝码台车在梁上纵向移动作为辅助措施，应视具体情况选定。

3、副滑道

当平转桥梁规模很大，对纵向稳定要求很高时，设置副滑道是稳妥可靠的方案。它的优点是在平衡跨尾部设置临时支墩，既增加了平衡重，又是平转桥梁的滑动支撑，同时还是平转桥梁的牵转动力装置的着力点。由于牵转力臂增大，使牵转力变小。对跨度大、转体结构高和纵向稳定要求严格的大型平转工程，多采用副滑道。笔者所作施工设计的大里营钢性索斜拉桥就是采用的副滑道，此桥已于1997年8月顺利平转成功。见笔者下列论文：

"一座钢性索PC斜拉桥水平转体施工设计的几项创新" 纪念茅以升诞辰一百周年学术交流会论文集1995—11

"大里营刚性索斜拉桥转体施工设计新技术" 铁道标准设计1998—2

4、秤重千斤顶

当单点平转时，为了掌握实际的平衡状态，可以在平衡盘上下之间布置4~6个秤重千斤顶，秤重发现不平衡的程度，可以预先采取有效措施保证平转顺利。但不是必须设置的。

5、牵转动力体系

桥梁平转的牵转动力体系经历了漫长的发展过程。70~80年代，大都采用卷扬机复式滑车组作为动力装置。它需要埋设多个锚碇、大量钢丝绳，占地面积很大，平转后期难以控制精确到位，往往平转过量，要回转非常困难。1989年在广州高速公路跨越广州北站立交桥的顶推施工中，笔者采用钢绞线束、群锚、穿心千斤顶和拉锚器新体系顺利顶推了变高度PC箱梁。这项新技术不仅为曲线箱梁的顶推施工提供了有效动力体系，还为连续顶推技术打下了基础。同时也为平转提供了新的牵转动力体系，即千斤顶—钢绞线束—群锚—拉锚器。开始是采用串联穿心千斤顶，后来笔者同厂家合作，在1992年研制出连续千斤顶，为桥梁水平转体提供了新的动力装置，使桥梁平转连续、平稳、等速、精确到位。而且，大大简化了施工布置。

这些创新的过程，可见笔者下列论文：

"广环高速公路跨广北立交桥主梁梁部施工技术" 中国土木工程学会第五届年会暨第二次全国城市桥梁学术会议论文集，天津大学出版社1990．5—6 天津

"串联张锚体系在桥梁建设中的广泛应用" 全国桥梁结构学术大会论文集，同济大学出版社1992．武汉

"变高度预应力混凝土箱梁顶推系统的设计与革新" 铁路工程建设科技动态报告会文集．1990 铁路桥梁工程分册，铁道部建设司

"拉杆式多点顶推新工艺的发展状况" 铁路工程建设科技动态报告会文集，1992 铁路桥梁工程分册，铁道部建设司

"我国连续顶推技术的最新发展概况" 科技通讯，铁道部第一工程局科研所1994～1

桥梁平转的牵转动力体系并没有发展到理想的程度，钢绞线束在半径不大的曲线上工作时，内外钢绞线受力不均衡，在安装过程中就难以使多根钢绞线沿曲线半径完全平行。今后发展的方向是封闭索、楔块式连续千斤顶体系，笔者正同厂家合作，研制这个新体系，不久即可在工程上广泛地应用。

四、结语

桥梁平转法施工技术至目前已经渐趋成熟，尤其对跨越既有公路、铁路、河流的PC连续

维普资讯 http://www.cqvip.com

梁、PC连续刚构桥、斜拉桥、斜拉桥、钢管混凝土拱桥等结构形式，都可以首选平转法施工。在障碍物轴线的平行线上，采用有支架、悬臂法或竖转法施工桥梁主体，然后在数分钟的极短时间内把桥梁平转到设计轴线上。平转法是所有立交桥施工方法中对桥下干扰最小的也是最安全的施工方法。迄今在国内外，还没有因桥梁平转而失败的报道。

表2 中国采用平转法施工的桥梁

序号	桥名	桥型	桥跨(m)	转体重t	转体角度	转体历时(min)	铰的形式	建成时间	备注
1	建设桥(四川遂宁)	箱肋拱	70	1200	143	240-270	钢板、四氟板	1977.3	有轴心
2	小金桥（四川）	桁架拱	46.8	365	90	90	钢球铰平衡轮	1978.10	
3	宗科桥（四川）	桁架拱	50	526	98~112	150	钢球铰平衡轮	1979.11	
4	松树坳渡槽(四川健为)	桁架拱	51.73	347			钢球铰平衡轮	1979.11	
5	曾达桥（四川金川）	独塔斜拉	71+40	1344	90	150	混凝土球铰平衡轮	1980.9	
6	枣科桥（四川壤塘）	桁架拱	50	526	87~92	250	钢球铰平衡轮	1989.11	
7	鲁班水库桥(四川三台)	钢桁架	35	50	90	30	混凝土球铰平衡轮	1980	
8	鲤鱼塘桥	箱肋双曲拱	80	1630	100~180	360~480	钢板、四氟板	1981.4	贵州翁安县
9	穿洞子桥	双曲拱	36	260		120	钢球铰平衡轮	1981.11	四川黑水县
10	渔巴渡桥	双曲拱	30	274	95	120	钢球铰平衡轮	1981.11	四川黑水县
11	核桃坪桥	桁架拱	40	292	124	90	钢球铰平衡轮	1982.11	四川卧龙区
12	洪溪桥（湖南洞口）	刚架拱	40	322	119~135	90~110	混凝土球铰平衡轮	1983.8	
13	安定桥（四川木里）	桁架拱	45	460	130	59	混凝土球铰平衡轮	1983.12	
14	绕腊桥（四川南平）	刚架拱	30	192		61		1983.12	
15	镇江关桥	桁架拱	35	382	30~90	60		1984	四川
16	杨村流槽桥(江西庆平)	钢架拱	67	440	100	15	钢球铰平衡轮	1984	
17	前进桥（山东洛南）	刚架拱	40	836	90~180		混凝土球铰平衡轮	1985.5	
18	跨线桥（江西贵溪）	斜腿刚构	30	1100	46	70	混凝土球铰平衡轮	1985.8	
19	石背桥（湖南洞口）	箱拱	90	1666	93~105	150~255	混凝土球铰平衡轮	1986	
20	幸福桥（四川壤塘）	桁架拱	21				混凝土球铰	1986.9	
21	友谊桥（四川壤塘）	桁架拱	29				混凝土球铰	1986.9	
22	团结桥（四川壤塘）	桁架拱	44				混凝土球铰	1986.9	
23	龙门桥（四川巫山）	箱拱	122	424	29~103	1440	上下转轴·锚桩	1987.6	

维普资讯 http://www.cqvip.com

续表2 中国采用平转法施工的桥梁

序号	桥名	桥型	桥跨(m)	转体重t	转体角度	转体历时(min)	铰的形式	建成时间	备注
24	游垄桥	双曲拱	60	38	110~133	45~90		1987	湖南资兴
25	抚边桥（四川小金）	斜腿刚构	31	750				1987	
26	渌江桥	箱拱	65	1800	101~127	210	钢板四氟板	1987	广西崇左
27	水厂人行桥	肋拱	50					1987	江西
28	古揽桥（广东罗定）	刚架拱	60	640	110~111	2~180	混凝土球铰平衡轮	1987.12	
29	仙人桥（湖南保靖）	刚架拱	80	1570			混凝土球铰平衡轮	1988	
30	乌江桥	箱拱	200	750	180~200			1988	
31	四川绵阳桥	T型刚构	70	2350	49	48	混凝土球铰	1990.5	采用砝码车
32	三道沟桥（湖北巴东）	刚架拱	35	850	80		混凝土球铰平衡轮	1990	
33	红水河桥	箱肋拱	120					1990.6	广西
34	清水河桥	独塔斜拉	95+60					1991	湖南江华
35	漠沙桥	双曲拱	65+65	3000				1992	云南
36	西安亭桥（广东）	T型刚构	128	3000				1992	
37	景阳桥	箱拱	14	830				1992	湖北
38	铜川立交桥（陕西）	T型刚构	20+20	1200	25		混凝土球铰	1993	
39	黄柏河桥（三峡）	钢管混凝土拱	160	3600	180~110	150	球铰上下盖钢板，有转轴	1996.1	转体动力为100t连续千斤顶
40	下牢溪桥（三峡）	钢管混凝土拱	160	3600	180~111	150	球铰上下盖钢板，有转轴	1996.2	同上
41	云里桥（江苏苏州）	连续梁(空腹)	35+75+35	1970	90	160	混凝土球铰和不锈钢板四氟板平面铰，有转轴	1998	转体动力为4台YCW100千斤顶4-3Φ15钢绞线束
42	都拉营桥(贵阳环城高速公路跨越川黔铁路立交桥)	T型刚构，两个T构平转，每端悬臂44m	55+90+55	7100 (6940)	73	2#-40 3#-平转阻力5000kN（为设计值5倍）	平面钢板铰，8个混凝土支腿，间隙50~80mm	1998.8	6台ZTD200连续千斤顶配9-Φ15钢绞线
43	大里营铁路立交桥	刚索斜拉	主跨50m，边跨40.75m	3040	49	105	混凝土球铰，硅脂四氟粉	1997.8 有副滑道	2-2台70t千斤顶串联，配钢绞线束
44	北盘江桥(水柏铁路桥)	钢管混凝土拱	主跨236m	8100	113		凹形钢板球铰有转轴	施工中单点平转	200t连续千斤顶
45	丫髻沙桥（广州）	钢管混凝土拱	76+360+76 中承式	两半拱先竖转再平转	两边拱为钢筋混凝土	肋拱	平转重量13600t	1999.10 合龙	