

海底光缆基本结构及相关问题的探讨

摘要：本文分析了海底光缆的应用条件和结构，根据我国的具体情况提出了结构和选材方案。

关键词：海底光缆；结构；选材；大长度；施工

0. 前言

我国是一个海洋大国，拥有 300 万平方公里的海域和 18000 公里长的海岸线，其中浅海大陆架为 120 万平方公里，沿海分布有 6000 多个岛屿，在浅海大陆架蕴藏着丰富的海底油田和天然气，沿海又是我国经济发达区。

在上一世纪，我国已先后敷设了近 2 万公里的海底通信电缆系统，至今已有三四十年历史。由于电缆通信容量小，抗干扰性差，加之使用时间太长，多数都已到退役更换期。

最终解决海岛与大陆，海岛与海岛的沿海通信问题，与电缆、微波、卫星等通信技术相比，用海底光缆通信系统是可行的。

我国同时又是一个内陆江河湖泊众多的国家，过去很多人主张用 GYTA5333 直埋加强型光缆代替水下光缆跨越江河、湖泊，这是一种误解，用正规的海底光缆才是正确的选择。

紧邻我国的东南亚各国，是一个海底光缆需求量极大的潜在市场，这些国家目前还不能生产海底光缆，不少本地区域性海缆工程往往从西欧引进，运输费耗资巨大。作为东南亚近邻，我们有能力参与竞争。

2. 应用场合对产品性能要求的情况分析

我国的海底光缆主要应用在沿海大陆架、内地江河湖泊跨越等场所，水深一般在 500m 以内，对这一地区使用的水下光缆要求必须有单层粗钢丝或双层钢丝进行铠装保护。及以内的浅水区，因此光缆受人为的机械损伤较为频繁。光缆经大张力拖拽后，要求其可靠。

当光缆受到 40% 额定抗拉力 (RTS) 拖拉后，要保证光缆中光纤的传输性能需基本良好，要求光缆中光纤基本不受力，这对光缆中光纤的余长和承受张力构件的钢丝提出了更为严格的要求。

同时对光缆的抗侧压特性也提出了更加苛刻的指标要求。一般情况下，**中高强度钢丝**具有一定的回弹性能，光缆承受 40%RTS 张力后应变基本能恢复，余长不会有很大损失。至于抗侧压性能提高，则要求缆芯设置在正中心，且**缆芯单元在保证 0.5%余长**前提下其尺寸越小越好。这不仅能提高**抗侧压能力**，同时**抗弯曲性能**也好。为了**保证光单元的长久寿命及性能稳定**，海底光缆必须要有**全密封的金属管保护**，由于海底光缆一经施工后终生都在水下工作，除了一般的浅水之外还会有**含盐度很高海水**，因为**只有全密封的金属管才能保证透潮系数为零**。

过去曾经有许多人把 GYTA5333 型光缆当作水下光缆，实际上这是一种错误的做法。档潮层是**开口的金属管，不能做到透潮系数为零**。所应将这种光缆长久应用在水下，是不能保证 GYTA5333 型光缆没有全密封的金属管保护光单元，虽然有铝带和钢带纵包，但这两种金属其寿命的。故 GYTA5333 型光缆是直埋加强型光缆，而不是**真正的水下光缆**。

3. 通光海底光缆的结构设计与选材

3.1 结构

中心管式海底光缆的主体结构分三部分，分别为缆芯、护套和铠装及外披层。

海底光缆由于**长期浸泡在浓度高的海水中，其腐蚀速率是很高的**。如果让钢丝直接与海水接触，一般的 6mm 粗**镀锌钢丝**在南海的寿命不超过 8 年，在北海的寿命也不会超过 12 年。

为了提高钢丝的抗腐寿命，从光缆的结构上，应当**避免钢丝直接与海水接触**。因此在钢丝铠装层中的间隙中及钢丝的外层必须**填充经过改性的沥青**，这种沥青与钢丝的粘结强度高、高温不沾粘、低温不发脆。因此铠装层中的间隙内缓冲层及双层外被层聚丙稀绳子必须过盈填充沥青。这样钢丝就不会与海水直接接触，能大大提高其抗腐寿命。

万一光缆被**船锚钩挂**，光缆的外被层及沥青保护层将受到一定程度的**破坏**，光缆局部区段会有钢丝与海水直接接触的可能，因此，铠装钢丝的材料选择也是十分重要的。

目前的钢丝，一种是国产的**合金镀层钢丝**，其**镀层成份是锌、铝、镁三种金属的合金**，其**抗腐寿命比普通镀锌钢丝提高约 3.5 倍**，受到普遍欢迎。另一种**进口的海缆钢丝**，其**抗腐寿命也能在三十年以上**，所以海底光缆的材质选择也是提高其寿命极重要的一环。

(1) 缆芯结构

通光海底光缆的缆芯，由不锈钢带纵包焊接，钢管内填充不析氢的阻水纤膏，并使光纤在钢管内有理想的余长，为了能保证光缆在断开后，在高的水压下有良好的阻水性能。钢管

一是为了检验其焊缝的焊接质量。二是为了获得理想的设计余长,海底光缆的单根制造段长,内填充的纤膏其**填充率要求在 98%以上**。钢管经焊接之后,要连续对其冷拔,冷拔的作用,在一定程度上决定于钢管的生产段长。

(2) 护套结构与材料

海缆的护套,指不锈钢管外的保护层,一般应采用进口的高密度聚乙烯材料。**为了使钢管与护套粘结牢靠**,可以有两种方案。一是对钢管进行预热后挤制;二是在**护套与钢管间挤一层热熔胶**,护套的厚度通常为 3mm 或更厚些。

(3) 铠装及外披层

内层的护套及缆芯,使其提高抗冲击抗侧压性能。海光缆的铠装层,有两个作用,第一个作用是提供高的抗张力指标。第二个作用是保护

为了获取高的机械抗张力,铠装钢线**通常用强度较高的中碳镀锌钢丝**,要求钢线在水中能耐腐蚀。外披层通常是聚丙烯绳绕扎达到紧固钢丝的目的,外披层中包含大量沥青以对钢丝缝隙进行填充,使钢丝不与海水接触。从而提高钢丝在海水中的抗腐寿命。**沥青**要求在高温时不过份软化或滴流,在低温时不发脆。通常选用进口的沥青较好。根据海光缆的铠装钢丝的粗度及层数,外披层可以选用单层聚丙烯绳绕扎,也可选用双层聚丙烯绳绕扎。

中碳钢丝绕绞后,尽管对其采取了**予变形**措施,但由于其硬度较低碳钢线高,所以绕绞后,会**存在一定的扭绞应力**,这一应力易使光纤产生附加损耗,为了减小这种应力对缆芯的影响,通常在钢丝与缆芯间,设置必要的**缓冲层**是一种很好的办法。

根据以上分析,适用于 500m 水深以内的无中继浅海光缆的结构见图 1 和图 2。

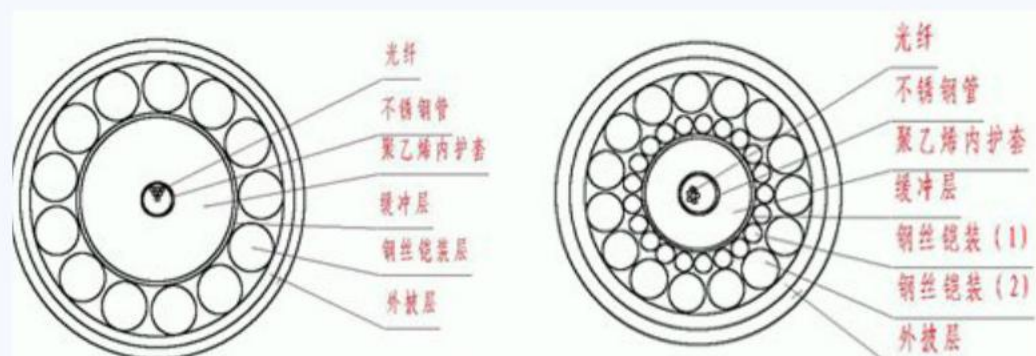


图1 无中继单层铠装结构示意图

图 2 无中继双层铠装结构示意图

有中继的浅海光缆，需在不锈钢松套管外**纵包有缝紫铜管**，紫铜管的截面积，需根据实际工程远供电流的大小进行设计。适用于 500m 水深以内的有中继浅海光缆的结构见图 3 和图 4。

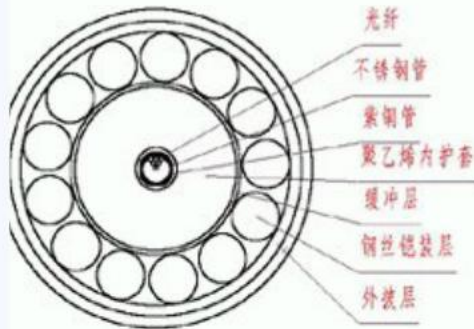


图3 有中继单层铠装结构示意图

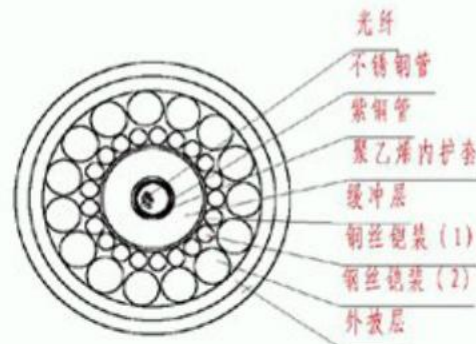


图 4 有中继双层铠装结构示意图

3.2 海底光缆的性能特点

(1) 段长要求

海底光缆在水下，要求线路的可靠性高。敷设施工技术复杂。光缆在水下要求**全线路径向密封**，且**纵向具有一定的抗渗水性能**。就此意义来看，接头盒越少越好，光缆的段长越大越好。

海底光缆必须由专门敷缆船装运，而我国现有敷设船，最大排水量 1200 吨左右，实际有效载运量约 400 吨。。。按双层粗钢丝铠装的浅海光缆计，每公里在空气中的自重约 3.9 十分方便，而且由于线路的接头少，可靠性也提高了，价格昂贵的海底光缆的接头盒用得也吨/km，一般最多一船只能装运 100km。如果将 100km 长的光缆只做一段，当然，敷设施工省了。但是反过来，超大长度的海底光缆，给制造商带来巨大的风险和难度，而且给生产这种产品的设备、水电供应等提出许多新的问题。所以，海底光缆的适宜制造段长一般在 25-50km 之间较为合适。

考虑到诸多方面的综合因素，通光的海底光缆设定的标准段长暂定为 50 公里/段。当光缆路由的长度在 50 公里以内，中间可以不带任何接头盒，但这一情况，必须是敷缆船能直达的海域。如果是在内陆水域，则无法使用敷缆船装运光缆，运输和施工将限制了光缆的长

度，海底光缆的风险和难度，可以说主要是由超大长度引起的。因此，对段长问题不宜作太这样制造时，可以先尽可能先做长段的，万一第一根做到 30 公里断了，第二根仍可以按 50 死的规定。比如有一段线路总长有 120 公里，允许采用三根光缆或中间接头点不多于二个，公里，第三根仍按平均数 40 公里进行，这样，风险度相应降低了，如果都定 40 公里逐一进行，则第一段就无法交付使用。

项目	单位	海底光缆类型			
		A	B	C	D
断裂位伸负荷 (UTS)	KN	400	180	100	50
短暂拉伸负荷 (NTTS)	KN	240	110	70	30
工作拉伸负荷 (NOTS)	KN	120	60	40	20
反复弯曲	次	30	50	50	50
最小弯曲半径	m	1.0	0.8	0.8	0.5
冲击 (落锤重量)	Nm	260	160	130	65
抗压	KN/ 100mm	40	20	15	10

注：A 型适用于中碳钢丝双铠浅海光缆；B 型和 C 型适用于单铠浅海光缆；D 型适用于深海光缆。

海底光缆进行机械性能试验时，光纤的附加衰减不应大于 0.05dB（断裂拉伸负荷除外），试验后光纤不应有附加衰减（测量值不大于 0.03dB，判为无附加衰减）。海底光缆进行工作拉伸负荷时，光纤不应有应变，应变不大于 0.005%时，判为无应变。海底光缆进行短暂拉伸负荷时，光纤的伸长量不应大于 0.15%。

(3) 物理性能要求 详见表 2

海底光缆类型	外径 mm	空气重量 kg/m	海水中重量 kg/m	渗水
A	36	3.5	2.7	5Mpa 水压，14d，单向渗水长度不大于 200m
B	33	3.9	3.1	
C	23	1.3	1.0	50Mpa 水压，14d，单向渗水长度不大于 1000m
D	17	0.5	0.3	

注：外径和重量为参考值

(4) 电气性能要求

表3 海底光缆电气性能要求

项目	单位	要求	
导电体的直流电阻	Ω / km	无中继	≤ 1.5
		有中继	需另外设计
导体和不锈钢松套管对地的绝缘电阻	$M \Omega . km$	≥ 10000	
导体和不锈钢松套管对地的直流电压	V	5000 (3min不击穿)	

(5) 光学性能与传输性能要求

海底光缆的光学性能与传输性能与陆地上的常规光缆类同。

3.3 海底光缆光纤芯数，钢管直径及余长

海底光缆光纤芯数、钢管直径（实际与内径有关），决定光纤在焊接时的一次余长的最大允许值，如果超过这一允许的最大值，光纤在钢管中的SZ空间螺旋线的宏弯曲可能会引起光纤的附加损耗。而且这一宏弯曲的量值对G652与G655光纤来说，应该是不一样的，因为G655光纤的模场直径较G652光纤粗，根据经验和理论上计算，它们之间的关系示为表4。

表4 钢管规格、光纤芯数及一次余长关系表

钢管规格 mm	光纤芯数	允许一次余长(%)
2.5	12	0.5
3.0	30	0.5
3.5	48	0.5

4. 海底光缆损坏的主要原因及防护措施

海底光缆损坏的主要原因是渔船、网具、船锚的钩挂拖拉，吨位较大的运输船有时遇上风浪抛锚，其破坏光缆力有时可达数十吨。事实上，造成光缆损坏的力主要是由拖拉力引起的侧压力，侧压力的大小与拉力成正比，而与锚爪的半径R成反比，即：

$$\sigma = \frac{F}{R} \text{ kN/cm} \quad (1)$$

我们假设拖拉力为120kN，光缆承受张力为1/2，锚爪的半径为4cm，则接触船锚处造成的侧压力为15kN/cm，相当于150kN/10cm。因此，光缆在该点很容易被局部压扁，缆芯（不锈钢管）、铠装钢丝很容易造成局部损坏，而真正被拉力拉断的现象是很少发生的。

鉴于上述分析,所以海底光缆最有效的防护办法是采取在浅海中的**深埋技术**。一般来讲,埋得越深,可靠性越高,而如果光靠提高光缆的机械强度来提高线路的可靠性是一种较被动,同时又要大幅度增加光缆成本的笨办法。只有当路由埋设十分困难的区段,可设计光缆加粗加重,同时增加机械强度的措施来对付可能遭到的人为损坏。

5. 海底光缆的施工